

Список использованных источников

1. Беленький А.М., Дубинский М.Ю., Калимулина С.И. Промышленный эксперимент – основа проведения энергосберегающей политики в металлургической теплотехнике // Металлург. 2010. №5. С. 26–29.

УДК 666.9:681.3

К. О. Бобров, А. Н. Лошкарев

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГОРЕНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА В ГОРЕЛКЕ ГПС-0,4

Аннотация

В работе представлено компьютерное моделирование работы топливосжигающего устройства ГПС-0,4. Исследование производилось с помощью программной системы ANSYS. Для моделирования горения в пакете ANSYS использовался модуль ANSYS CFX. В модуле были выбраны модели горения турбулентных течений, кинетика быстрых реакций не смешанных реагентов. В качестве топлива в данной работе использовался природный газ, а в качестве окислителя воздух. Итоги работы представлены графически и отражают температурные и скоростные поля, а также массовые доли реагирующих компонентов.

Ключевые слова: топливосжигающее устройство, компьютерное моделирование, горение, ANSYS CFX, модуль, температурные поля, скоростные поля, массовые доли.

Abstract

The work presents a computer simulation of fuel combusting unit GSP 0.4. The study was carried out using ANSYS software system. For the simulation of combustion in ANSYS package used by the CFX ANSYS module. The module was selected models of turbulent flows, combustion, kinetics of fast reactions were mixed reagents. The fuel natural gas used in this study, and as air is the oxidant. As the results of a graphical representation of the temperature and velocity fields as well as mass fractions of the reactants.

Keywords: fuel burning device, modeling, combustion, ANSYS CFX, module, temperature field, velocity field, mass fractions.

В качестве объекта моделирования выбрана горелка ГПС 0.4, работающая на природном газе. Горелка предназначена для использования в системе отопления зажигательных горнов агломерационных машин.

Первый этап моделирования горения в ANSYS CFX это создание твердотельной геометрической модели горелки ГПС – 0.4 (рис. 1). Данная модель была создана с помощью чертежно-графического редактора КОМПАС–3D, а затем экспортирована в модуль CFX, в геометрический подраздел «DesignModeler». Там произведена ее обработка с целью сокращения времени расчетов и построения более точной сетки.

Второй этап – это построение расчетной сетки [1; 2]. Инструменты для создания сетки позволяют генерировать сеточные модели для разных видов анализа. В данном исследовании был выбран метод вычислительной гидрогазодинамики «CFD» и решатель «CFX». Была построена тетраэдральная сетка, изображенная на рисунке 2.

Третий этап моделирование – это выбор расчетных моделей и задание граничных условий в физическом препроцессоре «CFX-Pre». Предпроцессинг необходим для подготовки общих расчетов поставленной задачи и дальнейшей отправке расчетных материалов в «CFX-Solver» (решатель). Для описания горения природного газа была использована

«Flamelet» модель. Она служит для моделирования диффузионного горения с турбулентным течением с использованием встроенных PDF библиотек ANSYS. Для того чтобы сгенерировать реакцию при помощи «Flamelet» модели существует инструмент «CFX-RIF» (генератор библиотек). В ней был выбран встроенный механизм «C1-C4», предназначенный для добавления компонентов топлива и окислителя. В опциях реакции были заданы массовые доли топлива и окислителя и их начальные условия. В качестве топлива использовался природный газ, состоящий из 99% CH_4 ; 0.1% C_2H_6 ; 0.04% C_3H_8 ; 0.03% CO_2 ; 0.01% O_2 . В качестве окислителя использовался воздух, состоящий из азота со значением массовой доли 0,767 и кислород с массовой долей 0,233. В качестве начальных условий были взяты температура 300K и давление 1атм для топлива и воздуха. После добавления объекта «CFX-RIF» на основании его кинетического механизма препроцессор автоматически добавляет все промежуточные компоненты при сгорании природного газа. Далее в разделе «Default Domain» выбираем механизм теплопередачи «Total energy». Этот параметр выбирает средства для анализа переноса тепла за счет теплопроводности в газах, или в их комбинации, и содержит большой набор данных о теплопроводности различных веществ.

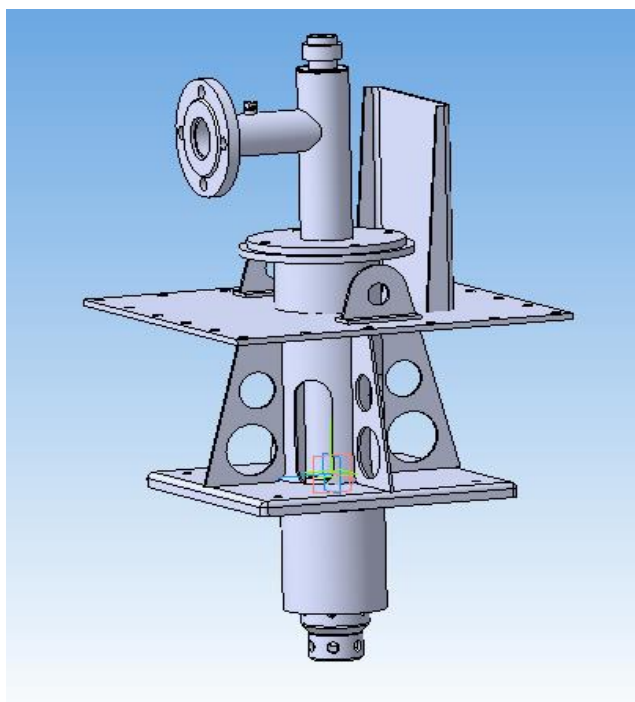


Рис. 1. Геометрическая модель горелки ГПС-0,4

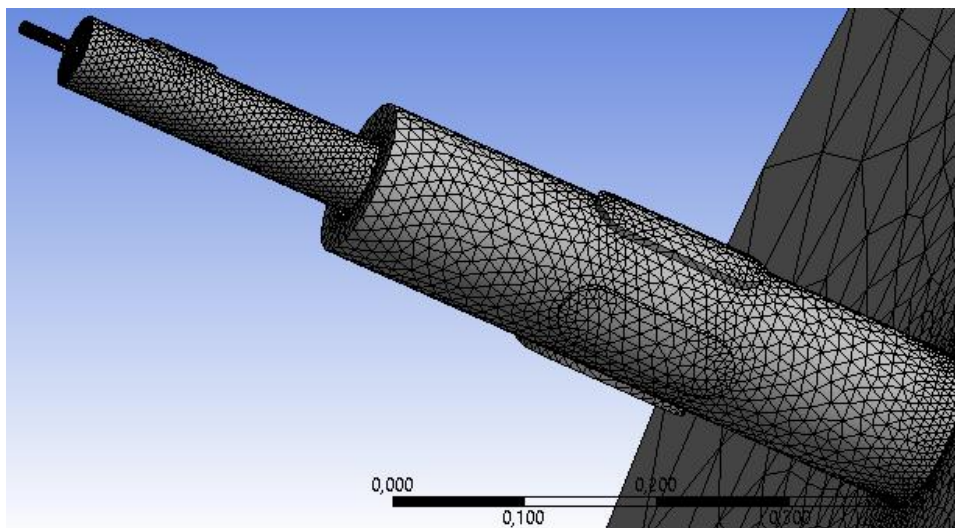


Рис. 2. Тетраэдральная сеточная модель

В работе был использован метод «Laminar flamelet». В нем турбулентность и неравновесная химия описывается статистически с помощью переменной смешения (Z) и мгновенной скорости скалярной диссипации (X).

$$Z = \frac{m_t}{m_t + m_{ok}}. \quad (1)$$

- на входе топлива $z = 1$;

- на входе окислителя $z = 0$;

Скорость скалярной диссипации показывает степень неравновесности химических реакций в турбулентном потоке. С увеличением X степень неравновесности возрастает. Вычисляется скорость скалярной диссипации с помощью уравнение переноса и зависит от значений турбулентности.

$$X = \frac{C_\epsilon \epsilon f'^2}{k}. \quad (2)$$

Далее необходимо выбрать модель турбулентности [3]. Наиболее распространённой моделью данного класса является k – ϵ модель. Для k – ϵ модели сформировался определенный набор эмпирических констант, который принят по умолчанию в пакете ANSYS: $C_\mu = 0,09$, $C_{\epsilon 1} = 1,44$, $C_{\epsilon 2} = 1,92$, $\sigma_k = 1,0$, $\sigma_\epsilon = 1,3$, $Prt = Sct = 0,7$. Стандартная версия k – ϵ модели позволяет рассчитать заданное турбулентное течение с достаточной точностью. Турбулентность оказывает существенное влияние на химические реакции за счет интенсификации смешения и скорости реакции (за счет флуктуации температуры).

В качестве граничных условий в данной задаче были указаны скорость потока топлива и окислителя на входе в горелку. Данные о скоростях энергоносителей были получены на основании известных экспериментальных расходных характеристик горелки [4]. В результате скорость природного газа 19.6 м/с при объемном расходе 80 м³/ч, а скорость воздуха 2.66 м/с при коэффициенте избытка воздуха $\alpha = 1.1$. Также в препроцессоре были указаны модель загрязнителей «C1 mechanism without NOx», соответствующая тепловому механизму горения Зельдовича и задается модель идеального газа для заданной смеси. В «CFX-Solver» происходит расчет всех задач моделирования горения. После операции вычисления «Calculate» в постпроцессоре были получены следующие графические результаты, отображающие температурное, скоростное поле и поля концентраций различных компонентов горения.

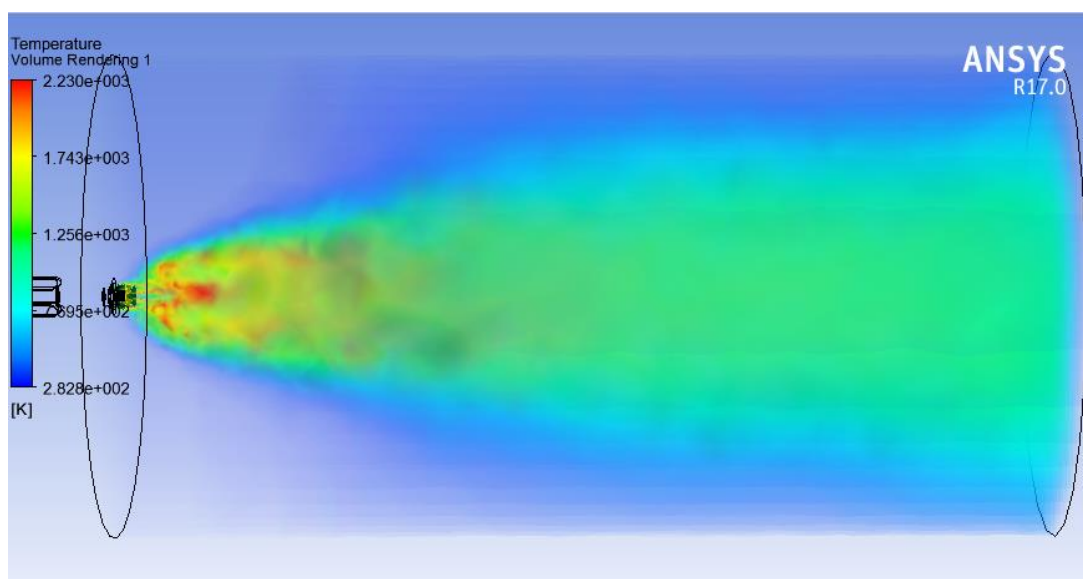


Рис. 3. Температурное поле факела

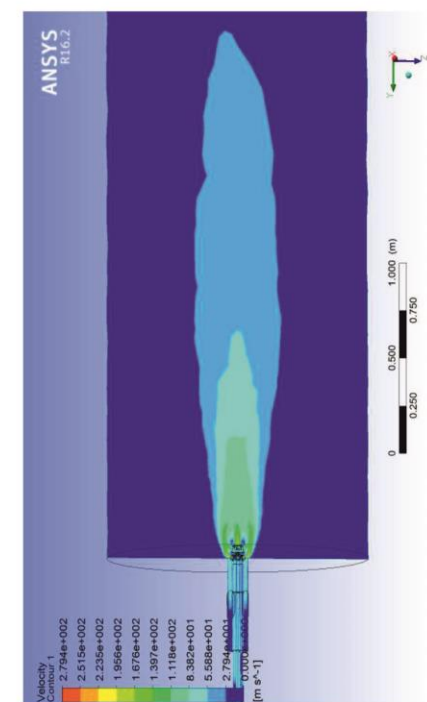


Рис. 4. Скоростное поле факела

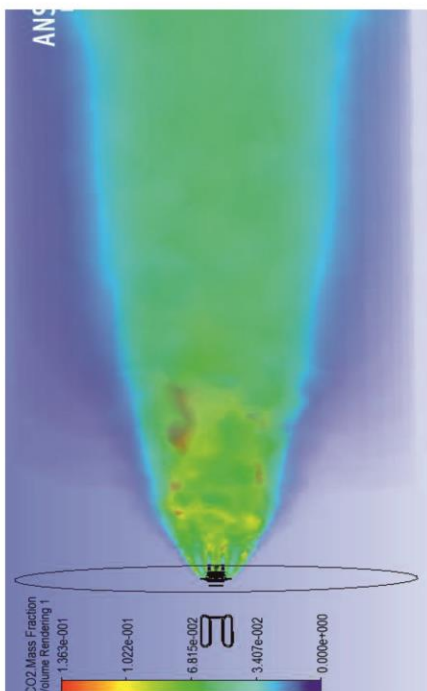


Рис. 5. Массовая доля CO₂

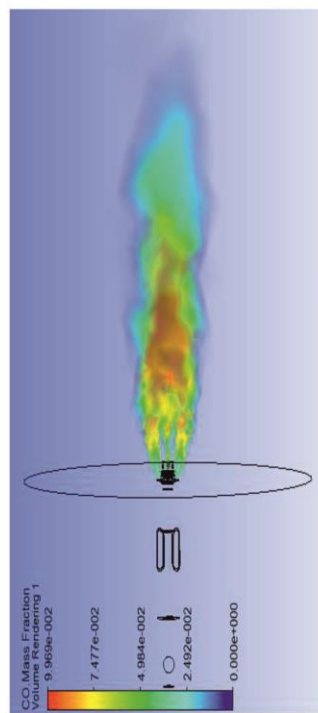


Рис. 6. Массовая доля CO

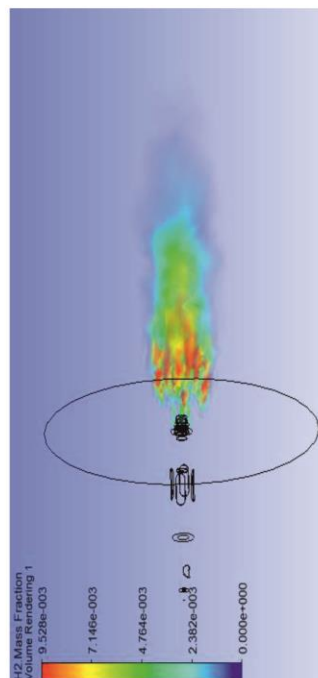


Рис. 7. Массовая доля H₂

Список использованных источников

1. Елисеев К.В., Зиновьева Т.В. Вычислительный практикум в современных САЕ-системах: учеб. пособие. – СПб.: изд-во Политехн. ун-та, 2008. – 112 с.
2. Бруйка В.А. Инженерный анализ в ANSYS Workbench: учебное пособие. Самара: изд-во гос.техн. ун-та, 2010. – 271 с.
3. Снегирёв А.Ю. Высокопроизводительные вычисления в технической физике. Численное моделирование турбулентных течений: учеб. пособие. – СПб.: изд-во Политехн. ун-та, 2009. – 143 с.
4. Руководство по эксплуатации горелки ГПС–0,4. Екатеринбург: ОАО «Научно исследовательский институт металлургической теплотехники», 2015. – 12 с.

УДК 536.2; 621.1

Ю. Р. Гильметдинова, Д. Н. Степанов, В. А. Микула

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ ТЕПЛООБМЕННОГО ЭЛЕМЕНТА КОНВЕКТИВНОГО ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО НАГРЕВАТЕЛЯ КОМПРИМИРОВАННОГО ВОЗДУХА

Аннотация

Рассмотрен способ интенсификации теплообмена, при рекуперативном нагреве воздуха до температур порядка 800–1000°С. Проанализировано влияние на процесс теплообмена высоты и толщины продольного ребра, а также их стоимостные показатели. Выбрана конструкция теплообменного элемента для дальнейшей проработки.

Ключевые слова: воздух, рекуперативный нагрев, высокотемпературный воздушнонагреватель, интенсификация теплообмена, гибридная схема ПГУ.

Abstract

The method heat transfer enhancement was considered in regenerative air heating to temperatures of about 800–1000 ° C. Impact the fins height and longitudinal thickness on heat transfer were analyzed, as well as their cost parameters were analyzed. The design of the heat exchanger element has been selected for further development.

Keywords: air, recuperative heating, high-temperature air heater, heat exchange intensification, combined-cycle power unit.

В связи со значительным сокращением запасов природного газа и нефти, с одной стороны, и с достаточно высокой ценой этих энергоресурсов, с другой, интерес к использованию твердых топлив в энергетике с каждым годом растет все больше. Уже достаточно продолжительное время в мире ведутся исследования по разработке высокоэффективного способа использования угля. Одним из перспективных направлений является развитие ПГУ на твердом топливе, так называемые ПГУ–ВЦГ с внешним сжиганием топлива.

В схеме гибридной ПГУ–ВЦГ с внешним сжиганием топлива на основе процессов термообработки угля и «внешнего» сжигания топлива одним из ключевых элементов является высокотемпературный воздушнонагреватель, в нем нагревается сжатый воздух (до 750–1000°С), направляемый затем в камеру сгорания газовой турбины.

Основная проблема высокотемпературных воздушнонагревателей (ВВН) – это конструкционные материалы труб. Они должны быть достаточно термостойкими, но стоимость подобных металлов высока, например, металл марки ХН67ВМТЮ, рассчитанный на дли-